

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-068910
 (43)Date of publication of application : 10.03.1998

(51)Int.CI. G02B 27/28
 G02B 6/12
 G02F 1/09

(21)Application number : 09-042584 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
 <NTT>

(22)Date of filing : 26.02.1997 (72)Inventor : SHINTAKU TOSHIHIRO
 KATO YUJIRO
 TACHIKAWA YOSHIAKI
 SUGIMOTO NAOTO
 OZAWAGUCHI HARUKI

(30)Priority

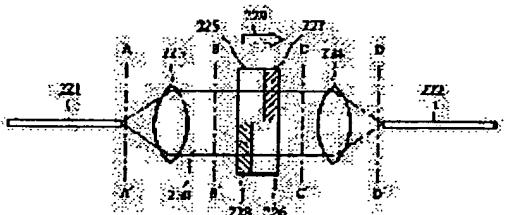
Priority number : 08 41702 Priority date : 28.02.1996 Priority country : JP
 08157228 18.06.1996 JP

(54) OPTICAL NONRECIPROCAL CIRCUIT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an inexpensive nonreciprocal circuit suitably for integration without requiring a polarization beam splitter by imparting nonreciprocal rotation and reciprocal rotation or the reciprocal rotation and the nonreciprocal rotation to respective separated light rays.

SOLUTION: The light radiated from an optical fiber 221 is made into parallel beams 230 by a lens 223. The upper half beam passes a Faraday roptator 225 and a half-wave plate 227 and the lower half half-wave beam passes a half-wave plate 228 and a Faraday rotator 226. These beams are respectively condensed by a lens 224 and arrive at the optical fiber 222. The light emitted from the optical fiber 222 advance backward in the respective parts and arrive at the optical fiber 221. The circuit is so formed as to satisfy $\theta_1 - \theta_2 = \pm\delta/4$, $\phi_1 + \phi_2 = \pm\delta/2 + 2n\delta$ (where n is an integer) when x - and y -axes are set within the plane perpendicular to the direction where the beams advance and when the Faraday rotating angles of the Faraday rotators 225, 226 are respectively different as $\phi_1 + \phi_2$ and the angles of the slow axis from the x -axis of the half-wave plates 227, 228 respectively as θ_1 , θ_2 .



[Date of request for examination] 23.10.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-68910

(43)公開日 平成10年(1998)3月10日

(51)Int.Cl*	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 02 B 27/28			G 02 B 27/28	A
6/12			G 02 F 1/09	5 0 5
G 02 F 1/09	5 0 5		G 02 B 6/12	L

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 15 頁)

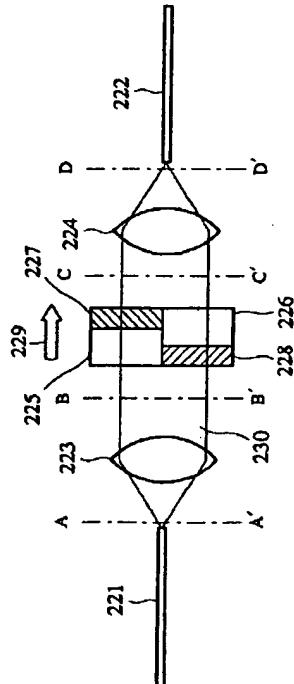
(21)出願番号	特願平9-42584	(71)出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(22)出願日	平成9年(1997)2月26日	(72)発明者	新宅 敏宏 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平8-41702	(72)発明者	加藤 雄二郎 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
(32)優先日	平8(1996)2月28日	(72)発明者	立川 吉明 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本 電信電話株式会社内
(33)優先権主張国	日本 (J P)	(74)代理人	弁理士 三好 秀和 (外1名) 最終頁に続く
(31)優先権主張番号	特願平8-157228		
(32)優先日	平8(1996)6月18日		
(33)優先権主張国	日本 (J P)		

(54)【発明の名称】光非相反回路

(57)【要約】

【課題】高価な複屈折結晶や光の分岐回路を必要とせず、かつ位相調節等を必要としない安価な光非相反回路を提供すること。

【解決手段】2つの導波路間で光を結合する光非相反回路として、前記2つの導波路間を伝搬する光が通過する少なくとも1枚のレンズと、前記2つの導波路間を伝搬する光の内、順方向に進む光については光の半分と残りの半分の偏光が同位相となり偶対称な導波モードとなって結合され、逆方向に進む光については光の半分と残りの半分の偏光が逆位相となり奇対称な非導波モードとなって散逸されるように、前記2つの導波路間を伝搬する光の半分に非相反回転と相反回軸を順次与え、残りの半分に相反回転と非相反回転を順次与える偏光回転手段と、から光非相反回路を構成する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 2つの導波路間で光を結合する光非相反回路であって、

前記2つの導波路間を伝搬する光が通過する少なくとも1枚のレンズと、

前記2つの導波路間を伝搬する光の内、順方向に進む光については光の半分と残りの半分の偏光が同位相となり偶対称な導波モードとなって結合され、逆方向に進む光については光の半分と残りの半分の偏光が逆位相となり奇対称な非導波モードとなって散逸されるよう、前記2つの導波路間を伝搬する光の半分に非相反回転と相反回転を順次与え、残りの半分に相反回転と非相反回転を順次与える偏光回転手段と、

を有することを特徴とする光非相反回路。

【請求項2】 前記偏光回転手段は、光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、

前記光の半分に対して配置される、ファラデー回転角が θ_{11} である第一の非相反回転子と、前記光の半分に対して配置される、x軸からのs low軸角度が θ_{12} である半波長板からなる第一の相反回転子と、

前記残りの半分に対して配置される、x軸からのs low軸角度が θ_{22} である半波長板からなる第二の相反回転子と、

前記残りの半分に対して配置される、ファラデー回転角が θ_{21} である第二の非相反回転子とを有し、

$$\theta_{11} - \theta_{21} = \pm \pi / 4$$

$$\theta_{12} + \theta_{22} = \pm \pi / 2 + 2n\pi \text{ (但し、nは整数)}$$

を満足することを特徴とする請求項1記載の光非相反回路。

【請求項3】 前記偏光回転手段は、

前記光の半分に対して前記順方向に沿って並べられた、ファラデー回転子と半波長板の対と、

前記残りの半分に対して前記順方向に沿って並べられた半波長板とファラデー回転子の対と、

を有することを特徴とする請求項1記載の光非相反回路。

【請求項4】 前記偏光回転手段は、

前記光の半分と前記残りの半分の両方に対して配置されたファラデー回転子と、

前記光の半分に対して前記順方向に沿って前記ファラデー回転子の後方側に配置された第一の半波長板と、

前記残りの半分に対して前記順方向に沿って前記ファラデー回転子の前方側に配置された第二の半波長板と、

を有することを特徴とする請求項1記載の光非相反回路。

【請求項5】 前記偏光回転手段は、光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、

前記2つの導波路間を伝搬する光をx軸方向に二分したときの前記光の半分に対して、前記順方向に沿って並べ

50

2

られたファラデー回転子と半波長板の対と、前記2つの導波路間を伝搬する光をx軸方向に二分したときの前記残りの半分に対して、前記順方向に沿って並べられた半波長板とファラデー回転子の対と、を有する第一の偏光回転手段と、

前記2つの導波路間を伝搬する光をy軸方向に二分したときの前記光の半分に対して、前記順方向に沿って並べられたファラデー回転子と半波長板の対と、前記2つの導波路間を伝搬する光をy軸方向に二分したときの前記残りの半分に対して、前記順方向に沿って並べられた半波長板とファラデー回転子の対と、を有する第二の偏光回転手段と、

を含むことを特徴とする請求項1記載の光非相反回路。

【請求項6】 前記偏光回転手段は、光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、

前記光の半分と前記残りの半分の両方に対して配置された第一のファラデー回転子と、前記2つの導波路間を伝搬する光をx軸方向に二分したときの前記光の半分に対して、前記順方向に沿って前記第一のファラデー回転子の後方側に配置された第一の半波長板と、前記2つの導波路間を伝搬する光をx軸方向に二分したときの前記残りの半分に対して、前記順方向に沿って並べられた半波長板と、を有する第一の偏光回転手段と、

前記光の半分と前記残りの半分の両方に対して配置された第二のファラデー回転子と、前記2つの導波路間を伝搬する光をy軸方向に二分したときの前記光の半分に対して、前記順方向に沿って前記第二のファラデー回転子の後方側に配置された第三の半波長板と、前記2つの導波路間を伝搬する光をy軸方向に二分したときの前記残りの半分に対して、前記順方向に沿って前記第二のファラデー回転子の前方側に配置された第四の半波長板と、を有する第二の偏光回転手段と、

を含むことを特徴とする請求項1記載の光非相反回路。

【請求項7】 光を分離・合成する光非相反回路であって、

分離された光が伝搬される第一の光路、第二の光路と、光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、前記分離された光の一方に対して配置されるファ

ラデー回転角が θ_{11} である第一の非相反回転子とx軸からのs low軸角度が θ_{12} である半波長板からなる第一の相反回転子とを有する、前記第一の光路に配置された第一の偏光回転手段と、

前記分離された光の他方に対して配置されるx軸からのs low軸角度が θ_{21} である半波長板からなる第二の相反回転子とファラデー回転角が θ_{22} である第二の非相反回転子とを有する、前記第二の光路に配置された第二の偏光回転手段とを含み、

前記第一、第二の光路を伝搬する光の内、順方向に進む光については前記分離された光の偏光が同位相となり偶

対称なモードとなって合成され、逆方向に進む光については前記分離された光の偏光が逆位相となり奇対称なモードとなって合成されるように、

$$\theta_{11} - \theta_{22} = \pm \pi/4$$

$$\theta_{11} + \theta_{22} = \pm \pi/2 + 2n\pi \quad (\text{但し、} n \text{は整数})$$

を満足することを特徴とする光非相反回路。

【請求項8】 前記第一、第二の光路の一端側に配置され、前記順方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記逆方向に進む光を合成する第一の分離合成手段と、

前記第一、第二の光路の他端側に配置され、前記逆方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記順方向に進む光を合成する第二の分離合成手段と、

を有することを特徴とする請求項7記載の光非相反回路。

【請求項9】 前記第一、第二の分離合成手段の各々は、Y分岐回路であり、光非相反回路が光アイソレータを構成することを特徴とする請求項8記載の光非相反回路。

【請求項10】 前記第一、第二の分離合成手段の各々は、X分岐回路であり、光非相反回路が光サーチュレータを構成することを特徴とする請求項8記載の光非相反回路。

【請求項11】 前記第一、第二の分離合成手段の各々は、光ファイバカップラであることを特徴とする請求項8記載の光非相反回路。

【請求項12】 前記第一、第二の非相反回転子は、前記第一、第二の光路の少なくとも一部を磁気光学導波路で形成し、磁界をかけることにより構成されることを特徴とする請求項7記載の光非相反回路。

【請求項13】 前記第一、第二の相反回転子は、前記第一、第二の光路近傍に配置された応力付与膜により該第一、第二の光路に歪みを起して構成されることを特徴とする請求項12記載の光非相反回路。

【請求項14】 前記第一、第二の光路の一端側に配置され、前記順方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記逆方向に進む光を合成する第一の分離合成手段と、

前記第一、第二の光路の他端側に配置され、前記逆方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記順方向に進む光を合成する第二の分離合成手段とを有し、

前記磁気光学導波路、前記応力付与膜、および前記第一、第二の分離合成手段は干渉形磁気光学導波路回路として一體的に形成されていることを特徴とする請求項13記載の光非相反回路。

【請求項15】 前記第一、第二の非相反回転子は、前

記第一、第二の光路の少なくとも一部を磁気光学結晶で形成し、磁界をかけることにより構成されることを特徴とする請求項7記載の光非相反回路。

【請求項16】 前記第一、第二の光路の少なくとも一方に、該第一、第二の光路の少なくとも一方を伝搬する光の位相を調整する位相調整手段を有することを特徴とする請求項7記載の光非相反回路。

【請求項17】 前記 θ_{11} 、 θ_{22} 、 θ_{12} 、 θ_{21} はさら

$$10 \quad 2\theta_{11} - \theta_{22} - 2\theta_{12} - \theta_{21} = \pi + 2m\pi \quad (\text{但し、} m \text{は整数})$$

を満足することを特徴とする請求項7記載の光非相反回路。

【請求項18】 光を分離・合成する光非相反回路であって、

分離された光が伝搬される第一の光路、第二の光路と、前記第一、第二の光路の一端側に配置され、前記順方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記逆方向に進む光を合成する第一の方向性結合器と、

前記第一、第二の光路の他端側に配置され、前記逆方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記順方向に進む光を合成する第二の方向性結合器と、

光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、

前記分離された光の一方に対して配置されるファラデー回転角が θ_{11} である第一の非相反回転子とx軸からのs low軸角度が θ_{12} である半波長板からなる第一の相反回転子とを有する、前記第一の光路に配置された第一の偏光回転手段と、

前記分離された光の他方に対して配置されるx軸からのs low軸角度が θ_{21} である半波長板からなる第二の相反回転子とファラデー回転角が θ_{22} である第二の非相反回転子とを有する、前記第二の光路に配置された第二の偏光回転手段とを含み、

前記第一、第二の光路を伝搬する光の内、順方向に進む光については前記分離された光の偏光が同位相で干渉して合成され、逆方向に進む光については前記分離された光の偏光が逆位相で干渉して合成されるように、

$$\theta_{11} - \theta_{22} = \pm \pi/4$$

$$\theta_{11} + \theta_{22} = \pm \pi/2 + 2n\pi \quad (\text{但し、} n \text{は整数})$$

を満足し、かつ $\theta_{11} = 3\pi/8$ 、 $\theta_{22} = 5\pi/8$ 、 $\theta_{12} = \theta_{21} = \pi/4$ を同時に満足しないことを特徴とする光非相反回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信、光計測等に用いる光非相反回路（光アイソレータ、光サーチュレータ等）、特に偏波無依存の光非相反回路に関するもの

である。

【0002】

【従来の技術】図1は従来の偏波無依存の光非相反回路の一例、ここでは松本隆男、佐藤健一著“光サーキュレータがもつ偏波依存性除去の試み”（信学技報OQE78-149、1978）に記載された例を示すものである。図中、1、2は偏光ビームスプリッタ、3、4はYIG等のファラデー回転子、5、6はファラデー回転子、3、4に磁界をかけるための磁石、7、8は半波長板、9、10は全反射ミラーである。

【0003】偏光を45度回転させるファラデー回転子3、4と、偏光を45度補償する半波長板7、8とを結合することにより、図面向かって右方向に進む光に対しては偏光が0度、左方向に進む光に対しては偏光が90度回転するように構成されている。

【0004】ポート1から入射した光は偏光ビームスプリッタ1において、S偏光（垂直な偏光）成分は反射されて上側に、P偏光（水平な偏光）成分は透過して下側に分離される。続いて、それぞれミラー9、10、ファラデー回転子3、4及び半波長板7、8を通過するが、右方向に進む光なので偏光状態はそのまま変化しない。その後、偏光ビームスプリッタ2で合成され、ポート2から出射する。

【0005】一方、ポート2から入射した光は偏光ビームスプリッタ2で偏光分離され、それぞれ半波長板7、8及びファラデー回転子3、4を通過するが、左方向に進む光なので、S偏光はP偏光に、P偏光はS偏光に変換され、偏光ビームスプリッタ1において合成されるとポート3に出射する。このように、ポート2からの光はポート1に帰らず、サーキュレータとなる。

【0006】一方、図2(a)は従来の偏波無依存の光非相反回路の他の例、ここでは松本隆男、“偏光依存性のない光ファイバー用アイソレータ”（信学論(C)、J62-C、No.7、pp505-512、昭和54年7月）に記載された光アイソレータの例を示す。図中、11、12は光ファイバ、13はレンズ、14、15は複屈折結晶、16は磁気光学材料、17は補償板である。

【0007】同図(b)に示すように、光ファイバ11から出射した光は複屈折結晶14で常光と異常光に分けられ、磁気光学材料16を通過することにより偏光がそれぞれ $\pi/2$ 回転し、複屈折結晶15で再び合成され、光ファイバ12に結合する。

【0008】また、同図(c)に示すように、光ファイバ12から出射した光、即ち逆に進む光は複屈折結晶15で常光と異常光に分けられ、補償板17及び磁気光学材料16を通過するが、偏光方向が変化しないため、複屈折結晶14で分離され、光ファイバ11には結合しない。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述した図1の従来の光非相反回路では、高価な偏光ビームスプリッタが必要であり、また、光軸及び偏光角度を高精度に調整する必要があるため、信頼性に乏しく、非常に高価になるという欠点があった。さらにまた、図1の従来の光非相反回路では偏光ビームスプリッタの集積化が困難であったため、集積化に適さないという欠点があった。

【0010】また、前述した図2(a)の従来の光非相反回路では、偏波無依存の光アイソレータが構成されているが、高価な複屈折結晶が必要となるため、非常に高価になるという問題があった。

【0011】また、特願平6-184359には、偏光ビームスプリッタを必要としない構成の光サーキュレータが開示されているが、この光サーキュレータは相反回転子や非相反回転子の角度が特定の値に限定された構成であって構成上の自由度がないという問題があった。即ち、この光サーキュレータでは、2つの非相反回転子のファラデー回転角 θ_{r1} 、 θ_{r2} は $\theta_{r1} = \theta_{r2} = \pi/4$ 、2つの半波長板のX軸からのs10w軸角度 θ_{s1} 、 θ_{s2} は $\theta_{s1} = 3\pi/8$ 、 $\theta_{s2} = 5\pi/8$ に限定されていた。さらに、この光サーキュレータは方向性結合器を用いているが、一般に方向性結合器は偏光依存性を有するため、TE、TMモードとも偏光が変化しないこの光サーキュレータの構成では、偏光依存損失(PDL)を解消できないという問題があった。

【0012】本発明の目的は、高価な偏光ビームスプリッタを必要としない、集積化に適した安価な光非相反回路を提供することにある。

【0013】本発明の他の目的は、高価な複屈折結晶や光の分岐回路を必要とせず、かつ位相調整等を必要としない、安価な光非相反回路を提供することにある。

【0014】本発明の他の目的は、偏光ビームスプリッタを必要としない構成を有し、かつ構成上の自由度が大きく、方向性結合器等の分岐回路に起因する偏光依存損失を解消することが可能な光非相反回路を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を解決するため、2つの導波路間で光を結合する光非相反回路であって、前記2つの導波路間を伝搬する光が通過する少なくとも1枚のレンズと、前記2つの導波路間を伝搬する光の内、順方向に進む光については光の半分と残りの半分の偏光が同位相となり偶対称な導波モードとなって結合され、逆方向に進む光については光の半分と残りの半分の偏光が逆位相となり奇対称な非導波モードとなって散逸されるように、前記2つの導波路間を伝搬する光の半分に非相反回転と相反回転を順次与え、残りの半分に相反回転と非相反回転を順次与える偏光回転手段と、を有することを特徴とする光非相反回路を提供す

る。

【0016】このような構成によれば、順方向に進む光のパワーはそのまま出力され、逆方向に進む光のパワーは散逸されることになり、複屈折結晶や光の分岐回路を必要とせず、かつ位相調節等を必要としない偏波無依存の安価な光非相反回路を構成できる。

【0017】また、本発明は、上記課題を解決するため、光を分離・合成する光非相反回路であって、分離された光が伝搬される第一の光路、第二の光路と、光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、前記分離された光の一方に対して配置されるファラデー回転角が θ_{11} である第一の非相反回転子とx軸からのs low軸角度が θ_{12} である半波長板からなる第一の相反回転子とを有する、前記第一の光路に配置された第一の偏光回転手段と、前記分離された光の他方に対して配置されるx軸からのs low軸角度が θ_{21} である半波長板からなる第二の相反回転子とファラデー回転角が θ_{22} である第二の非相反回転子とを有する、前記第二の光路に配置された第二の偏光回転手段を含み、前記第一、第二の光路を伝搬する光の内、順方向に進む光については前記分離された光の偏光が同位相となり偶対称なモードとなって合成され、逆方向に進む光については前記分離された光の偏光が逆位相となり奇対称なモードとなって合成されるように、

$$\theta_{11} - \theta_{12} = \pm \pi / 4$$

$$\theta_{21} + \theta_{22} = \pm \pi / 2 + 2n\pi \quad (\text{但し、} n \text{は整数})$$

を満足することを特徴とする光非相反回路を提供する。

【0018】このような構成によれば、順方向に進む光のパワーはそのまま出力され、逆方向に進む光のパワーは散逸されることになり、偏波ビームスプリッタを必要としない、集積化に適した光非相反回路を構成できる。

【0019】また、本発明は、上記課題を解決するため、光を分離・合成する光非相反回路であって、分離された光が伝搬される第一の光路、第二の光路と、前記第一、第二の光路の一端側に配置され、前記順方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記逆方向に進む光を合成する第一の方向性結合器と、前記第一、第二の光路の他端側に配置され、前記逆方向に進む光を該第一、第二の光路に分離して出力するとともに、該第一、第二の光路から入力される前記順方向に進む光を合成する第二の方向性結合器と、光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、前記分離された光の一方に対して配置されるファラデー回転角が θ_{11} である第一の非相反回転子とx軸からのs low軸角度が θ_{12} である半波長板からなる第一の相反回転子とを有する、前記第一の光路に配置された第一の偏光回転手段と、前記分離された光の他方に対して配置されるx軸からのs low軸角度が θ_{21} である半波長板からなる第二の相反回転子とファラデー回転角が θ_{22} である第二の非相反回転子と

10

20

40

50

を有する、前記第二の光路に配置された第二の偏光回転手段とを含み、前記第一、第二の光路を伝搬する光の内、順方向に進む光については前記分離された光の偏光が同位相で干渉して合成され、逆方向に進む光については前記分離された光の偏光が逆位相で干渉して合成されるように、

$$\theta_{11} - \theta_{12} = \pm \pi / 4$$

$$\theta_{21} + \theta_{22} = \pm \pi / 2 + 2n\pi \quad (\text{但し、} n \text{は整数})$$

を満足し、かつ $\theta_{11} = 3\pi / 8$, $\theta_{12} = 5\pi / 8$, $\theta_{21} = \theta_{22} = \pi / 4$ を同時に満足しないことを特徴とする光非相反回路を提供する。

【0020】しかも、これらの構成によれば、偏光分離回路を必要としない構成を有しているながら、構成上の自由度が大きく、偏光依存損失を解消することが可能な光非相反回路を構成できる。

【0021】

【発明の実施の形態】

【原理1】図3は本発明の光非相反回路の第1の原理を説明するもので、図中111, 112は光路、113,

114は非相反回転手段としてのファラデー回転子(FR1, FR2)、115, 116は相反回転手段としての半波長板(HW1, HW2)、117, 118は分離合成手段としての分岐回路(BR)である。

【0022】光の右方向に進む方向をz軸、z軸に垂直で光路111と112の面に垂直な軸をx軸、水平な軸をy軸とし、時計回りの回転を正とする。この座標に従って、ファラデー回転子113, 114のファラデー回転角をそれぞれ θ_{11} , θ_{12} 、半波長板115, 116のx軸からs low軸の角度をそれぞれ θ_{11} , θ_{12} とする。

【0023】一例として、ファラデー回転子113, 114のファラデー回転角を $\theta_{11} = \theta_{12} = \pi / 4$ とし、半波長板115, 116のx軸からs low軸の角度をそれぞれ $\theta_{11} = \pi / 8$, $\theta_{12} = -\pi / 8$ とする。

【0024】次に、図4の偏光状態の変化を用いて動作原理を説明する。

【0025】(a) x軸偏光前進波：左から入射したx軸偏光の光は2つに分けられる。上側に進む光はFR1で $\pi / 4$, HW1で $-\pi / 4$ 回転し、元に戻る。一方、下側に進む光はHW2で $-\pi / 4$, FR2で $\pi / 4$ 回転し、元に戻る。2つの同位相の光は出射分岐回路で合成され、偶対称モード(導波モード)となり出射する。

【0026】(b) y軸偏光前進波：左から入射したy軸偏光の光は2つに分けられる。上側に進む光はFR1で $\pi / 4$, HW1で $3\pi / 4$ 回転し、反転する。一方、下側に進む光はHW2で $3\pi / 4$, FR2で $\pi / 4$ 回転し、反転する。2つの反転した同位相の光は出射分岐回路で合成され、偶対称モード(導波モード)となり出射する。

【0027】(c) x軸偏光後進波：右から入射したx

軸偏光の光は2つに分けられる。上側に進む光はHW1で $\pi/4$ 、FR1で $\pi/4$ 回転し、 $\pi/2$ 回転する。一方、下側に進む光はFR2で $\pi/4$ 、HW2で $5\pi/4$ 回転し、 $3\pi/2$ 回転する。2つの光は逆位相となり、出射分岐回路で奇対称モード（非導波モード）となり散逸する。

【0028】(d) y軸偏光後進波：右から入射したy軸偏光の光は2つに分けられる。上側に進む光はHW1で $5\pi/4$ 、FR1で $\pi/4$ 回転し、 $3\pi/2$ 回転する。一方、下側に進む光はFR2で $\pi/4$ 、HW2で $\pi/4$ 回転し、 $\pi/2$ 回転する。2つの光は逆位相となり、出射分岐回路で奇対称モード（非導波モード）となり散逸する。

【0029】このように、右方向に進む光のパワーはそのまま出力され、左方向に進む光のパワーは散逸されることにより、偏波無依存の光アイソレータが構成される。また、半波長板に $\theta_{s1} = 3\pi/8$ 、 $\theta_{s2} = \pi/8$ を*

$$T_p = \frac{-j}{2} \left\{ \begin{pmatrix} \cos(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) & \sin(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) \\ \sin(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) & -\cos(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos(2\theta_{s2}+\theta_{f2}) & \sin(2\theta_{s2}+\theta_{f2}) \\ \sin(2\theta_{s2}+\theta_{f2}) & -\cos(2\theta_{s2}+\theta_{f2}) \end{pmatrix} \right\} \quad (2)$$

で表される。

【0032】また、ポート2から入射してポート1から※

$$T_B = \frac{-j}{2} \left\{ \begin{pmatrix} \cos(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) & \sin(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) \\ \sin(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) & -\cos(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) & \sin(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) \\ \sin(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) & -\cos(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) \end{pmatrix} \right\} \quad (3)$$

で表される。

【0033】前進波はパワーが減衰しないでそのまま出射し、後進波はパワーが0となるためには T_f がユニタリーリー行列となり、 T_f が0行列とならなければいけない★

$$\theta_{s1} - \theta_{s2} = \pm \pi/4 \quad (4)$$

$$\theta_{f1} + \theta_{f2} = \pm \pi/2 + 2n\pi \quad (n \text{は整数}) \quad (5)$$

となる。

【0034】さらに、x軸偏光はy軸偏光にy軸偏光はx軸偏光に変換することにより、分岐回路の偏光依存性を改善することができる。その条件は T_f の対角項が0になることである。これを求めるとき、(4)、(5)式★

$$2\theta_{s1} - \theta_{f1} - 2\theta_{s2} - \theta_{f2} = \pi + 2m\pi \quad (m \text{は整数}) \quad (6)$$

例として、 $\theta_{f1} = \theta_{f2} = \pi/4$ のとき、

◆ ◆ 【数6】

$$\theta_{s1} = 3\pi/8 + k\pi/2 \quad (k \text{は整数}) \quad (7)$$

$$\theta_{s2} = \pi/8 + k\pi/2 \quad (k \text{は整数}) \quad (8)$$

または、

* * 【数7】

$$\theta_{s1} = \pi/8 + k\pi/2 \quad (k \text{は整数}) \quad (9)$$

$$\theta_{s2} = 3\pi/8 + k\pi/2 \quad (k \text{は整数}) \quad (10)$$

となる。

*選ぶと、出射光の偏光を入射光に対して $\pi/2$ 回転させることができるため、分岐回路の偏光依存性を解消することができる。

【0030】次に、伝搬行列を用いて一般的な条件を求める。入射のx軸偏光の振幅を A_x 、y軸偏光の振幅を A_y とし、出射のx軸偏光の振幅を B_x 、y軸偏光の振幅を B_y とすると、伝搬行列は、

【数1】

$$\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} A_x \\ A_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

と定義される。

【0031】図3の構成において、ポート1から入射してポート2から出射する前進波の光に対する伝搬行列 T_f は、

【数2】

$$\begin{pmatrix} \cos(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) & \sin(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) \\ \sin(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) & -\cos(2\theta_{s1}-\theta_{f1}) \end{pmatrix}$$

※出射する後進波の光に対する伝搬行列 T_f は、

【数3】

$$\begin{pmatrix} \cos(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) & \sin(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) \\ \sin(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) & -\cos(2\theta_{s1}+\theta_{f1}) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \cos(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) & \sin(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) \\ \sin(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) & -\cos(2\theta_{s2}-\theta_{f2}) \end{pmatrix} \quad (3)$$

★い。この条件を(2)、(3)式に入れると、求める条件は、

【数4】

☆の条件に加え、さらに次の(6)式を満足することが条件となる。

$$2\theta_{s1} - \theta_{f1} - 2\theta_{s2} - \theta_{f2} = \pi + 2m\pi \quad (m \text{は整数}) \quad (6)$$

【0035】

【数5】

【数6】

【数7】

【数8】

【数9】

【数10】

【数11】

【数12】

【数13】

【数14】

【数15】

【数16】

【数17】

【数18】

【数19】

【数20】

【数21】

【数22】

【数23】

【数24】

【数25】

【数26】

【数27】

【数28】

【数29】

【数30】

【数31】

【数32】

【数33】

【数34】

【数35】

【数36】

【数37】

【数38】

【数39】

【数40】

【数41】

【数42】

【数43】

【数44】

【数45】

【数46】

【数47】

【数48】

【数49】

【数50】

【数51】

【数52】

【数53】

【数54】

【数55】

【数56】

【数57】

【数58】

【数59】

【数60】

【数61】

【数62】

【数63】

【数64】

【数65】

【数66】

【数67】

【数68】

【数69】

【数70】

【数71】

【数72】

【数73】

【数74】

【数75】

【数76】

【数77】

【数78】

【数79】

【数80】

【数81】

【数82】

【数83】

【数84】

【数85】

【数86】

【数87】

【数88】

【数89】

【数90】

【数91】

【数92】

【数93】

【数94】

【数95】

【数96】

【数97】

【数98】

【数99】

【数100】

【数101】

【数102】

【数103】

【数104】

【数105】

【数106】

【数107】

【数108】

【数109】

【数110】

【数111】

【数112】

【数113】

【数114】

【数115】

【数116】

【数117】

【数118】

【数119】

【数120】

【数121】

【数122】

【数123】

【数124】

【数125】

【数126】

【数127】

【数128】

【数129】

【数130】

【数131】

【数132】

【数133】

【数134】

【数135】

【数136】

【数137】

【数138】

【数139】

【数140】

【数141】

【数142】

【数143】

【数144】

【数145】

【数146】

【数147】

【数148】

【数149】

【数150】

【数151】

【数152】

【数153】

【数154】

【数155】

【数156】

【数157】

【数158】

【数159】

【数160】

【数161】

【数162】

【数163】

【数164】

【数165】

【数166】

【数167】

【数168】

【数169】

【数170】

【数171】

【数172】

【数173】

【数174】

【数175】

【数176】

【数177】

【数178】

【数179】

【数180】

【数181】

【数182】

【数183】

【数184】

【数185】

【数186】

【数187】

【数188】

【数189】

【数190】

【数191】

【数192】

【数193】

【数194】

【数196】

第2の原理を説明するもので、図3の回路において分岐回路として4端子の分岐回路119, 120を用いて偶対称モードと奇対称モードを分離・合成させるかあるいは上側の光と下側の光を干渉させることにより光サーキュレータを構成したものである。本回路ではポート1に入射した光はポート2から出射し、ポート2に入射した光はポート3から出射し、ポート3に入射した光はポート4から出射し、ポート4に入射した光はポート1から出射する。

【0037】[実施の形態1] 図6は第1の原理に基づく本発明の第1の実施の形態を示すもので、図中、121は磁気光学導波路、122, 123はY分岐導波路、124, 125は半波長板、126は磁気光学導波路121にかけられる磁界を示す。磁気光学導波路121は磁気光学性の材料YIG(イットリウムアイアンガーネット)を加工し、2本の導波路を形成しており、磁界をかけることにより非相反性のファラデー効果を示す。磁気光学導波路121の材料としてはYIG以外に他元素置換YIG等が、Y分岐導波路122, 123の材料としてはガーネット、石英、ガラス系等が使用できる。

【0038】[実施の形態2] 図7は第1の原理に基づく本発明の第2の実施の形態を示すもので、図中、131は非相反回転手段としての導波路とともにY分岐導波路を磁気光学導波路で形成した干渉形磁気光学導波路、132, 133は応力付与膜、134は干渉形磁気光学導波路回路131にかけられる磁界を示す。a-Si等で形成された応力付与膜132, 133は導波路に歪みを起こさせ、半波長板として機能する。応力付与膜132, 133の形成された干渉形磁気光学導波路回路131は一体的に形成されるため、光集積化に適する。

【0039】[実施の形態3] 図8は第2の原理に基づく本発明の第3の実施の形態を示すもので、図中、181は磁気光学導波路、182, 183は4端子の分岐回路であるX分岐導波路、184, 185は半波長板、186は磁気光学導波路181にかけられる磁界を示す。X分岐導波路184, 185は偶対称モードと奇対称モードを分離・合成する。

【0040】[実施の形態4] 図9は第2の原理に基づく本発明の第4の実施の形態を示すもので、図中、191は非相反回転手段としての導波路とともにX分岐導波路磁気光学導波路で形成した干渉形磁気光学導波路、192, 193はa-Si等で形成された応力付与膜、194は干渉形磁気光学導波路191にかけられる磁界を示す。これらは一体的に形成されるため、集積化に適する。

【0041】[実施の形態5] 図10は第2の原理に基づく本発明の第5の実施の形態を示すもので、図中、141は磁気光学導波路、142, 143は4端子の分岐導波路、144, 145は半波長板、146は磁気光学導波路141にかけられる磁界を示す。4端子の分岐導

波路142, 143は方向性結合器の導波路で構成され、上側の光と下側の光を干渉させる。

【0042】[実施の形態6] 図11は第2の原理に基づく本発明の第6の実施の形態を示すもので、図中、151は非相反回転手段としての導波路とともに方向性結合器を磁気光学導波路で形成した干渉形磁気光学導波路回路、152, 153はa-Si等で形成された応力付与膜、154は干渉形磁気光学導波路回路151にかけられる磁界を示す。これらは一体的に形成されるため、集積化に適する。

【0043】[実施の形態7] 図12は第2の原理に基づく本発明の第7の実施の形態を示すもので、図中、161は磁気光学結晶、162, 163はビームスプリッタ、164, 165は半波長板、166, 167はミラー、168は磁気光学結晶161にかけられる磁界を示す。本回路は導波路構造ではなく、光ビームが空間を飛ぶ構造である。

【0044】[実施の形態8] 図13は第2の原理に基づく本発明の第8の実施の形態を示すもので、図中、171は磁気光学結晶、172, 173は光ファイバカップラ、174, 175は半波長板、176は磁気光学結晶171にかけられる磁界を示す。本回路では分離合成手段と光路を、2本の光ファイバを融着接続してなる周知の光ファイバカップラで構成しており、光ファイバの磁気光学結晶171側の先端172a, 173aはコア拡大され、出射する光ビームの広がりを抑えている。光ファイバを用いることにより、製造が簡単となる。なお、光ファイバとしては通常の光ファイバの外に、偏波保持ファイバを用いることもできる。

【0045】[実施の形態9] 図14は第2の原理に基づく本発明の第9の実施の形態を示すもので、ここでは第8の実施の形態において位相調整部177を持たせている。位相調整部177は、例えば光ファイバの一部に紫外線や加熱等により屈折率を変化させることにより、位相の調整を行うものである。なお、その他の構成・作用は第8の実施の形態と同様である。

【0046】また、位相調整部は前述した他の実施の形態においても適用可能である。

【0047】上述した第1の実施の形態から第9の実施の形態に係る光非相反回路では、光の分岐回路が必要であり、また、干渉を利用していいるため、実際は何等かの位相調節が必要になる。以下に、複屈折結晶や光の分岐回路を必要とせず、かつ位相調節等を必要としない、安価な光非相反回路を実現する本発明の他の実施の形態を説明する。

【0048】[実施の形態10] 図15は本発明の光非相反回路の第10の実施の形態を示すもので、図中、221, 222はシングルモード光ファイバ、223, 224はレンズ、225, 226はファラデー回転子、227, 228は半波長板、229はファラデー回転子2

25, 226にかける磁界である。

【0049】前記構成において、シングルモード光ファイバ221から放射した光はレンズ223により平行光230となり、上半分の光はファラデー回転子225及び半波長板227を通り、下半分の光は半波長板228及びファラデー回転子226を通り、それぞれレンズ224で集光され、シングルモード光ファイバ222に達する。反対に、シングルモード光ファイバ222から出射した光はそれぞれの部品を逆方向に進み、シングルモード光ファイバ221に達する。

【0050】光の右方向に進む方向をz軸、z軸に垂直な面内に適当なx軸及びy軸を設定し、時計回りの回転を正とする。また、ファラデー回転子225, 226のファラデー回転角をそれぞれ θ_{r1} , θ_{r2} 、半波長板227, 228のx軸からs1ow軸の角度をそれぞれ θ_{s1} , θ_{s2} とした時、

$$\theta_{s1} - \theta_{s2} = \pm \pi/4$$

$\theta_{r1} + \theta_{r2} = \pm \pi/2 + 2n\pi$ (但し、nは整数) を満足するように構成されている。

【0051】図16は図15中のファイバ出射端のA-A'面及びD-D'面における電界分布と、平行光230のB-B'面及びC-C'面における偏光状態とを示す。

【0052】同図(a)に示すように、シングルモード光ファイバ221から出射した光の電界分布は偶対称な導波モード(A-A'面)であり、レンズ223で平行にされた後も光の上半分と下半分は同じ偏光(B-B'面)を有している。

【0053】上半分の光はファラデー回転子225及び半波長板227を通り、下半分の光は半波長板228及びファラデー回転子226を通過することにより、偏光方向は変わっても上半分と下半分は同じ偏光(C-C'面)となる。そのため、レンズ224で集光された電界分布は偶対称な導波モード(D-D'面)となり、光ファイバ222に結合する。

【0054】一方、同図(b)に示すように、シングルモード光ファイバ222から出射した光の電界分布は偶対称な導波モード(D-D'面)であり、レンズ224で平行にされた後も光の上半分と下半分は同じ偏光(C-C'面)を有している。

【0055】上半分の光は半波長板227及びファラデー回転子225を通り、下半分の光はファラデー回転子226及び半波長板228を通過することにより、上半分と下半分では逆の偏光(B-B'面)となる。そのため、レンズ223で集光された電界分布は奇対称な非導波モード(A-A'面)となり、シングルモード光ファイバ221には結合しないで散逸する。このようにして、偏波無依存の光アイソレータが構成されることになる。

【0056】[実施の形態11] 図17は本発明の光非相反回路の第11の実施の形態を示すもので、ここでは

第10の実施の形態において2枚のファラデー回転子を1枚のファラデー回転子231に置き換えた例を示している。なお、他の構成・効果は第10の実施の形態と同様である。

【0057】[実施の形態12] 図18は本発明の光非相反回路の第12の実施の形態を示すもので、ここでは第10の実施の形態において2枚のレンズを1枚のレンズ232に置き換えてシングルモード光ファイバ221及び222を結合した例を示している。なお、他の構成・効果は第10の実施の形態と同様である。

【0058】[実施の形態13] 図19は本発明の光非相反回路の第13の実施の形態を示すもので、225A, 225B, 226A, 226Bはファラデー回転子、227A, 227B, 228A, 228Bは半波長板を示す。ここでは第10の実施の形態においてファラデー回転子・半波長板と半波長板・ファラデー回転子の組み合わせの機能を2段にし、光の分離方向を1段目と2段目とで垂直にしている。これにより、後進波において、1段目で奇対称な非導波モードになりきらなかった光を2段目で奇対称な非導波モードにすることによりアイソレーションの向上を図ることができる。このとき、1段目と2段目とで、光の分離方向が垂直になっているため、後進波の1段目で奇対称な非導波モードになった電界分布が偶対称な導波モードに戻ることを避けることができる。

【0059】[実施の形態14] 図20は本発明の光非相反回路の第14の実施の形態を示すもので、ここでは第13の実施の形態において1段目、2段目各々の2枚のファラデー回転子を1枚のファラデー回転子に置き換えた例である。他の構成・効果は第13の実施の形態と同様である。

【0060】なお、上述した各実施の形態において、磁界の印加方法として電磁石を用いることもできる。その場合、周知の通り、電磁石にかける電流の方向や量を変えることにより、光非相反回路を光スイッチまたは光可変減衰器として機能させることも可能である。本発明の上述した各実施の形態におけるような光非相反回路を用いて、そのような電磁石を用いた光スイッチまたは光可変減衰器を構成することも勿論可能である。

いて結合する際、光の半分に非相反回転と相反回転を与えるとともに残りの半分に相反回転と非相反回転を与える、光の進行方向の違いにより、順方向では同位相で合成されて偶対称な導波モードとなって結合し、光のパワーがそのまま出力され、逆方向では逆位相で合成されて奇対称な非導波モードとなるため結合せず、光のパワーが散逸することにより、高価な複屈折結晶や光の分岐回路を必要とせず、かつ位相調整等を必要としない、安価な光非相反回路を実現できる。

【0063】また、本発明によれば、偏光分離回路を必要としない構成を有していても、相反回転子や非相反回転子の角度が特定の値に限定されず、構成上の自由度が大きく、方向性結合器等の分岐回路に起因する偏光依存損失を解消することが可能な光非相反回路を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の光非相反回路の一例を示す構成図。

【図2】従来の光非相反回路の他の例を示す構成図。

【図3】本発明の光非相反回路の第1の原理を説明する構成図。

【図4】図3の回路の動作を説明するための光の偏光状態を示す図。

【図5】本発明の光非相反回路の第2の原理を説明する構成図。

【図6】第1の原理に基づく本発明の第1の実施の形態を示す構成図。

【図7】第1の原理に基づく本発明の第2の実施の形態を示す構成図。

【図8】第2の原理に基づく本発明の第3の実施の形態を示す構成図。

【図9】第2の原理に基づく本発明の第4の実施の形態を示す構成図。

【図10】第2の原理に基づく本発明の第5の実施の形態を示す構成図。

【図11】第2の原理に基づく本発明の第6の実施の形態を示す構成図。

【図12】第2の原理に基づく本発明の第7の実施の形態を示す構成図。

【図13】第2の原理に基づく本発明の第8の実施の形態を示す構成図。

【図14】第2の原理に基づく本発明の第9の実施の形態を示す構成図。

【図15】本発明の光非相反回路の第10の実施の形態を示す構成図。

【図16】図15の回路の動作を説明するための電界分布と偏光状態を示す図。

【図17】本発明の光非相反回路の第11の実施の形態を示す構成図。

【図18】本発明の光非相反回路の第12の実施の形態を示す構成図。

【図19】本発明の光非相反回路の第13の実施の形態を示す構成図。

【図20】本発明の光非相反回路の第14の実施の形態を示す構成図。

【符号の説明】

111, 112 光路

113, 114, 225, 226, 231 ファラデー回転子

115, 116, 124, 125, 144, 145, 164, 165, 174, 175, 184, 185, 227, 228 半波長板

117, 118, 119, 120 分岐回路

121, 141, 181 磁気光学導波路

122, 123 Y分岐導波路

126, 134, 146, 154, 176, 186, 194, 229 磁界

131, 151, 191 干渉形磁気光学導波路回路

132, 133, 152, 153, 192, 193 応力付与膜

142, 143 4分岐導波路

161, 171 磁気光学結晶

162, 163 ピームスプリッタ

166, 167 ミラー

172, 173 光ファイバカップラ

182, 183 X分岐導波路

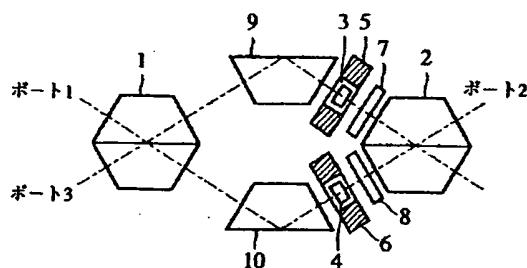
177 位相調整部

221, 222 シングルモード光ファイバ

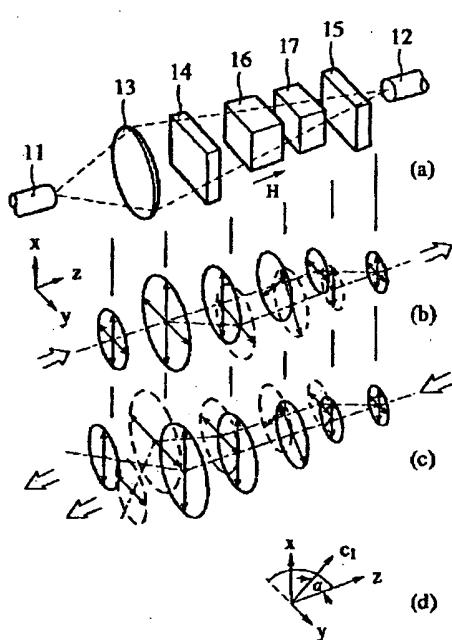
223, 224, 232 レンズ

230 平行光

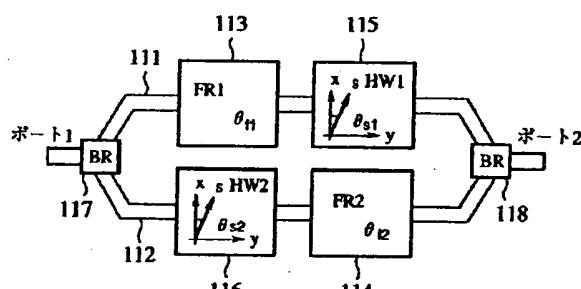
【図1】



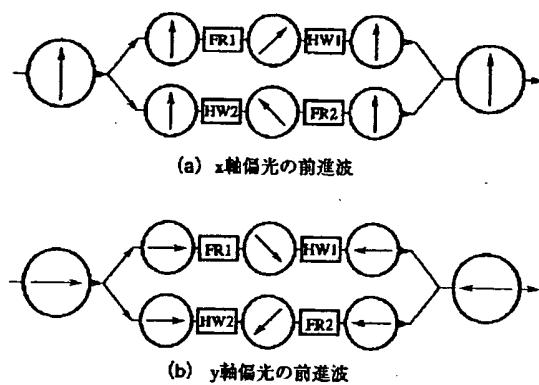
【図2】



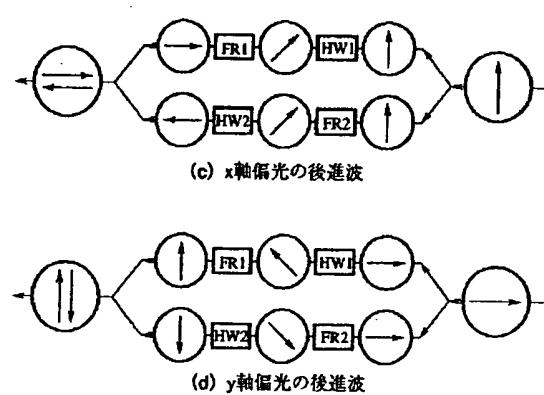
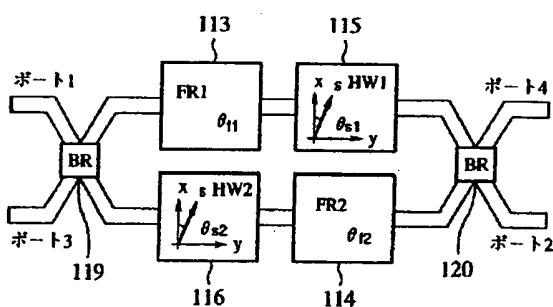
【図3】



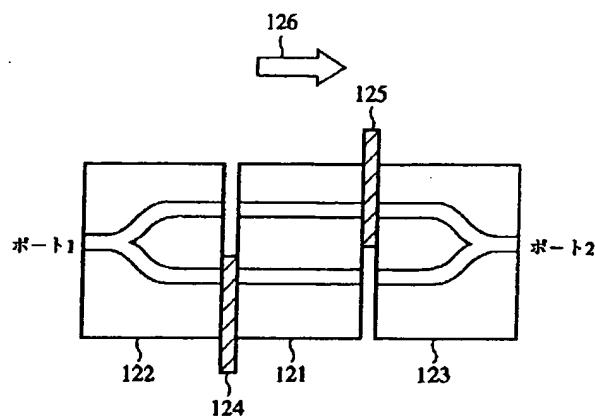
【図4】



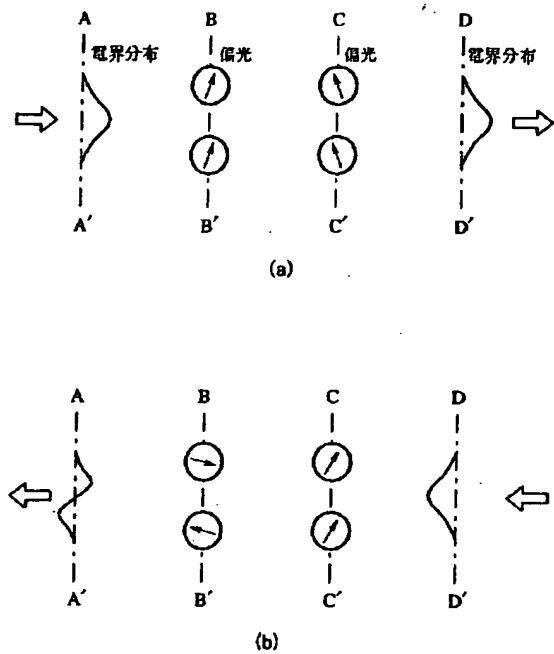
【図5】



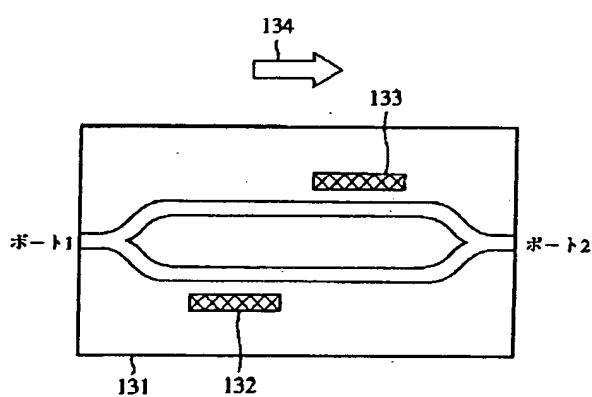
【図6】



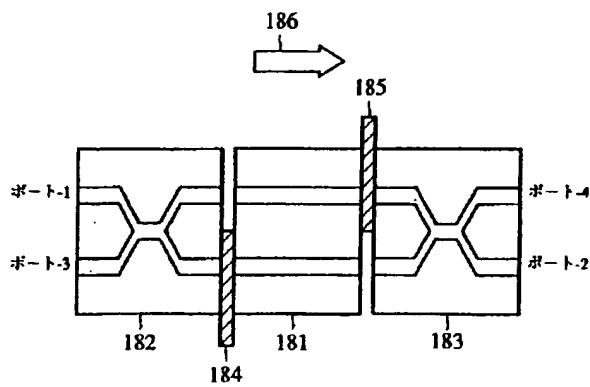
【図16】



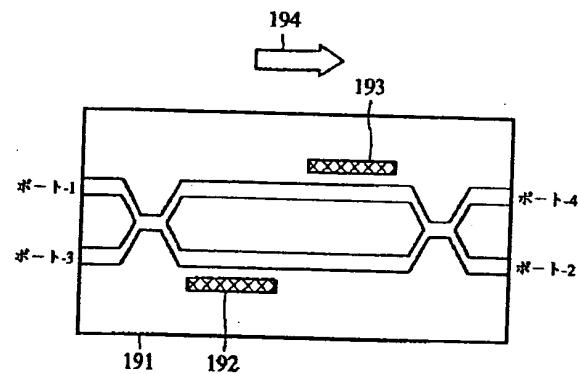
【図7】



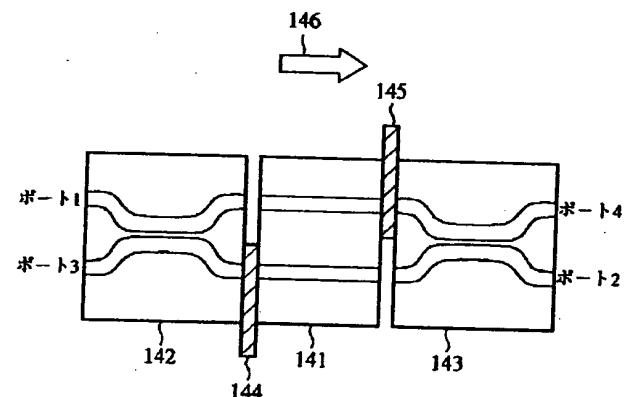
【図8】



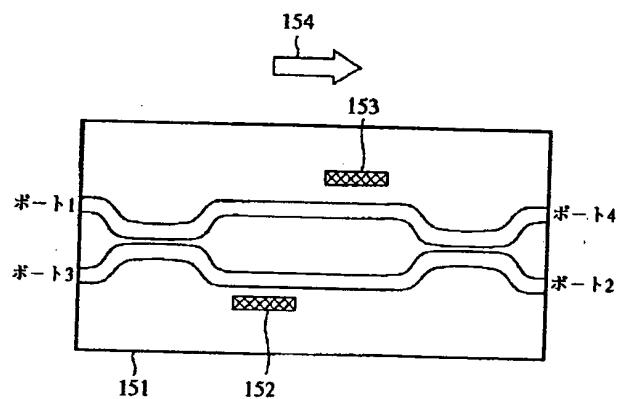
【図9】



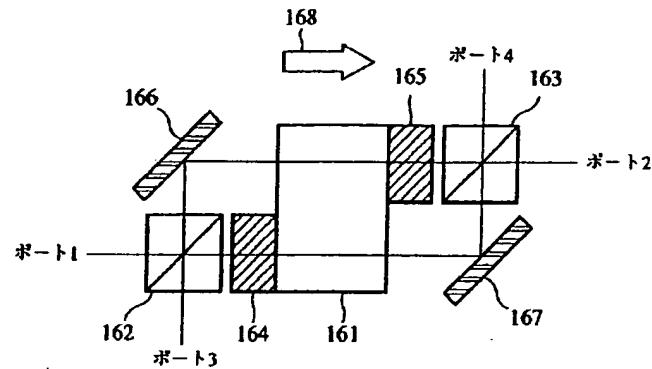
【図10】



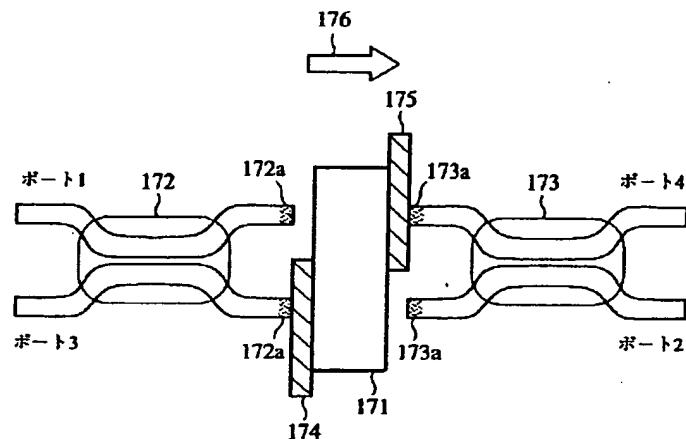
【図11】



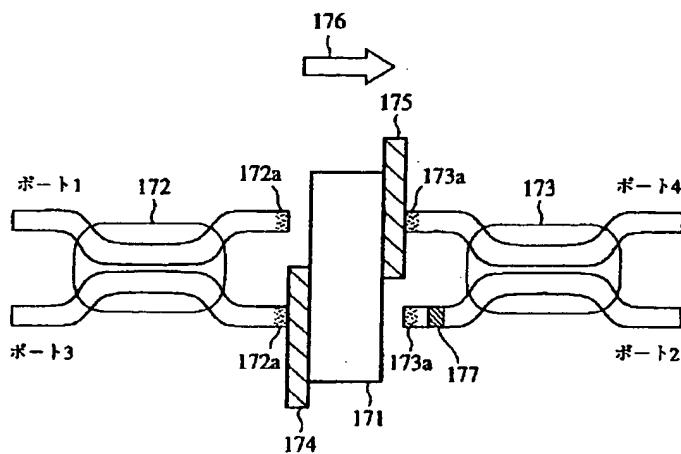
【図12】



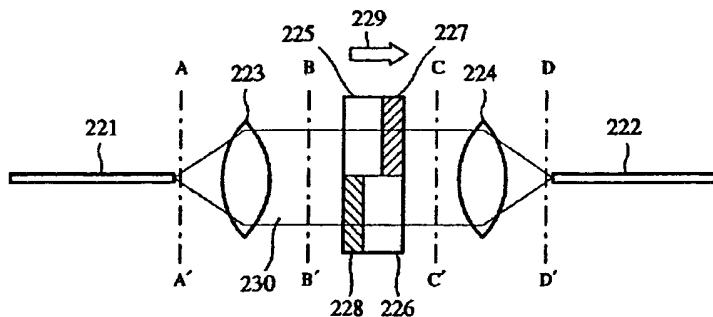
【図13】



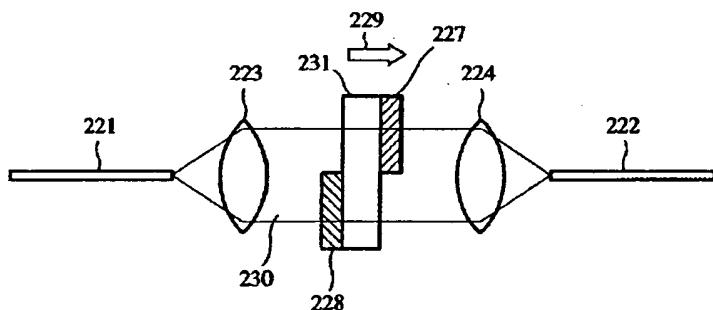
【図14】



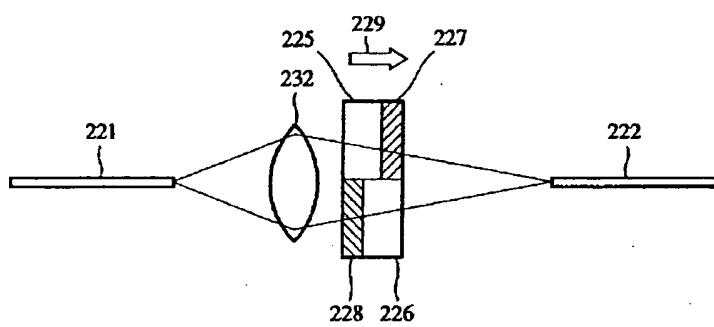
[図15]



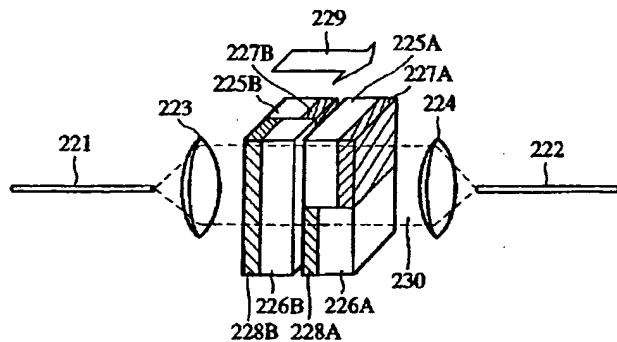
[図17]



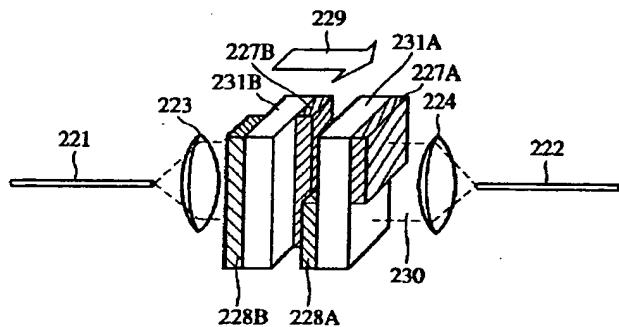
[図18]



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 杉本 直登
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 小澤口 治樹
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

